

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до самостійного вивчення
дисципліни

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

(для студентів усіх форм навчання напрямів підготовки
6.050701 – Електротехніка та електротехнології,
6.050702 – Електромеханіка)

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2015

Методичні вказівки до самостійного вивчення дисципліни «Електричні машини» (для студентів усіх форм навчання напрямів підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, 6.050702 – Електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: М. Л. Глебова, О. В. Дорохов, Я. Б. Форкун. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015 – 27 с.

Укладачі: к.т.н., доц. М. Л. Глебова
к.т.н., доц. О. В. Дорохов
к.т.н., доц. Я. Б. Форкун

Рецензент: проф. д.т.н. А. Г. Сосков

Рекомендовано кафедрою теоретичної та загальної електротехніки,
протокол № 07 від 26.03.2015 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Розділ 1 Мета і завдання дисципліни. Місце дисципліни у навчальному процесі.....	6
1.1 Мета і завдання дисципліни.....	7
1.2 Місце дисципліни в структурно-логічній схемі підготовки фахівця.....	7
1.3 Навчально-методичні джерела.....	7
Розділ 2 Модуль 1 Трансформатори, асинхронні машини	9
2.1 ЗМ 1.1 Фізичні процеси в трансформаторі та їх математичний опис, характеристики трансформатора	9
2.2 ЗМ 1.2 Фізичні процеси в асинхронній машині та їх математичний опис, характеристики асинхронної машини	13
Розділ 3 Модуль 2 Синхронні машини, машини постійного струму	17
3.1 ЗМ 2.1 Фізичні процеси в синхронній машині та їх математичний опис, характеристики синхронної машини	17
3.2 ЗМ 2.2 Фізичні процеси в машинах постійного струму та їх математичний опис, характеристики машин постійного струму	21
Розділ 4 Критерії оцінки знань студентів	26

ВСТУП

Підвищення якості підготовки молодих спеціалістів тісно пов'язане з розширенням та удосконаленням самостійної роботи студентів у період навчання. Треба відзначити, що роль самостійної роботи студентів при вивченні навчальних дисциплін також суттєво зростає у зв'язку зі вступом України в Болонський процес та переходом на кредитно-модульну систему освіти, тому що обсяг її повинен складати 60 % від загального обсягу необхідних для вивчення дисципліни годин.

Студенти спеціальностей «Світлотехніка та джерела світла» (СДС) та «Електротехнічні системи електроспоживання» (ЕСЕ) всіх форм навчання протягом двох семестрів вивчають дисципліну «Електричні машини». Складається дисципліна з двох модулів: «Трансформатори, асинхронні машини» та «Синхронні машини, машини постійного струму».

Ці методичні вказівки дозволять ще в більшій мірі інтенсифікувати навчальний процес, переносючи центр тяжіння у навчанні на самостійну роботу студентів, а також враховувати сучасні тенденції розвитку вищої освіти. Підготовлені вони на основі робочої програми дисципліни «Електричні машини», яка в свою чергу відповідає навчальному плану підготовки бакалавра галузі 0507 «Електротехніка та електромеханіка» напряму 6.050701 – Електротехніка та електротехнології», що підписаний 17 вересня 2012 р. Цей план передбачає наступний загальний розподіл та розподіл у межах семестру за типом навчальної роботи для студентів денної та заочної форм навчання (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Загальний розподіл обсягу навчальної роботи студента

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів 7	Нормативна	Рік (роки) підготовки	
		2-й, 3-й	3-й
		Семестр(и)	
		4-й, 5-й	5-й, 6-й
Загальна кількість годин – 252	Галузь знань 0507 Електротехніка та електромеханіка Напрямок підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»	Лекції*:	
51 год.		12 год.	
Модулів – 2		Практичні, семінарські*:	
Змістових модулів (ЗМ) – 4		-	-
		Лабораторні*:	
		68 год.	16 год.
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4;3 самостійної роботи студента – 3;5	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <u>бакалавр</u>	Самостійна робота*:	
Індивідуальне науково-дослідне завдання Розрахунково-графічна робота (денна та заочна форма навчання) Контрольна робота (заочна форма навчання)		133 год.	224 год.
		Індивідуальні завдання:	
		18 год.	36 год.
		Вид контролю: (залишити потрібне; вказати номери семестрів)	
		екзамен (5-й) залік (4-й)	екзамен (6-й) залік (5-й)

РОЗДІЛ 1

МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ

МІСЦЕ ДИСЦИПЛІНИ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

1.1 МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Мета: формування теоретичних знань та практичних навичок у галузі електричних машин та трансформаторів, їх електричних та механічних властивостей, енергетичних і теплових процесів, що мають місце при їх роботі.

Завдання дисципліни:

- вивчення принципів побудови електричних машин та трансформаторів, методів їх розрахунку та областей застосування.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

Знати:

- будову і принцип дії окремих видів електричних машин і трансформаторів; основні елементи конструкцій і матеріали, з яких вони виконуються
- електромагнітні та електромеханічні процеси в електричних машинах і трансформаторах та їх вплив на режим роботи, характеристики і енергетичні показники; способи пуску та регулювання швидкості обертання електричних машин;
- особливості експлуатації електричних машин і трансформаторів; математичні моделі електричних машин і трансформаторів різного рівня

Вміти:

- вибирати електричні машини і трансформатори для конкретних умов їх практичного використання;
- використовувати основні рівняння та паспортні дані електричних машин і трансформаторів для визначення їхніх параметрів для аналізу режимів роботи характеристик та енергетичних показників;
- адекватно застосувати математичні моделі електричних машин і трансформаторів.

Мати компетентності:

- для конкретних машин і механізмів вирішувати питання управління електричними машинами залежно від особливостей технологічного процесу;
- підбирати струмовий захист відповідно до режимів роботи електричних машин;
- розробляти систему сигналізації аварійних режимів і відхилень від заданих режимів у процесі експлуатації.

1.2 МІСЦЕ ДИСЦИПЛІНИ В СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНІЙ СХЕМІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ

Таблиця 1.1

Вивчення цієї дисципліни безпосередньо спирається на:	На результати вивчення цієї дисципліни безпосередньо спираються:
фізика, вища математика	Електрична частина станцій та під- станцій;
теоретичні основи електротехніки	перехідні процеси в електроенергетиці
промислова електроніка	автоматизований електропривод
технічна механіка	електричні системи та мережі
основи метрології та електричних вимірювань	
електротехнічні матеріали.	

1.3 НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ ДЖЕРЕЛА

Для успішного самостійного освоєння дисципліни студенту рекомендується користуватися навчально-методичною літературою, список якої наведений нижче.

Основні навчально-методичні джерела

1. Яцун М. А. Електричні машини / М. А. Яцун. – Львів : Львівська політехніка, 2001. – 428 с.
2. Копылов И. П. Электрические машины. Учебник для вузов / И. П. Копылов. – М. : Высшая школа, 2004. – 607 с.
3. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. Учебник для вузов / А. В. Иванов-Смоленский. – М. : Энергия, 1988. – 928 с. : ил.
4. Вольдек А. И. Электрические машины / А. И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1984. – 840 с.
5. Брускин Д. Э. Электрические машины и микромашины / Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов. – М. : Высшая школа, 1990. – 528 с. : ил.
6. Электрические машины. Трансформаторы : учебное пособие для студентов факультета последипломного образования и студентов дневной и заочной формы обучения специальности 6.090603 «Электрические системы электроснабжения», 6.090605 «Светотехника и источники света», 6.092202 «Электрический транспорт» / М. Л. Глебова, М. В. Чернявская, А. И. Кузнецов, И. Т. Карпалюк. – Х. : ХНАГХ, 2007. – 180 с.

7. Электрические машины переменного тока : учебное пособие для студентов факультета последиplomного образования и студентов дневной и заочной формы обучения специальности 6.090603 «Электрические системы электроснабжения», 6.090605 «Светотехника и источники света», 6.092202 «Электрический транспорт» / М. Л. Глебова, М. В. Чернявская, А. И. Кузнецов, И. Т. Карпалюк. – Х. : ХНАГХ, 2008. – 102 с.

8. Синхронные машины. Машины постоянного тока : конспект лекций для студентов 3 курса направления подготовки 0922, 6.050702 – Электромеханика специальности «Электрический транспорт» / М. Л. Глебова, М. В. Чернявская, А. И. Кузнецов, И. Т. Карпалюк. – Х. : ХНАГХ, 2009. – 237 с.

9. Рисованый С. В. Проектирование вентильных реактивных двигателей / С.В. Рисованый, В.Б. Финкельштейн ; Х., 2013 – 242 с.

Додаткові навчально-методичні джерела

1. Читечян В. И. Электрические машины. Сборник задач / В. И. Читечян. – М.: Высшая школа, 1988. – 231 с. : ил.

2. Кацман М.М. Электрические машины / М. М. Кацман. М. : Высшая школа, 2001. – 464 с. : ил.

3. Копылов И.П. Проектирование электрических машин / И.П. Копылов. – М. : Энергия, 1980.– 496 с. : ил.

Список методичних вказівок (МВ)

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи з курсу «Електричні машини» за розділом «Трансформатори» для студ. усіх форм навчання напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології», 6.050702 «Електромеханіка» / Харк.нац. ун. міськ. госп-ва ; уклад. : М. Л. Глебова, О. В. Дорохов, Я. Б. Форкун. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 26 с.

2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Електричні машини» за розділом «Машини постійного струму» (для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, 6.050702 – Електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: М. Л. Глебова, О. В. Дорохов, В. Б. Фінкельштейн, Я. Б. Форкун. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 28 с.

3. Методичні вказівки до лабораторної роботи з курсу «Електричні машини» за розділом «Машини змінного струму» для студ. усіх форм навчання напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології», 6.050702 «Електромеханіка» / Харк.нац. ун. міськ. госп-ва ; уклад. : М. Л. Глебова, О. В. Дорохов, В.Б. Фінкельштейн. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 39 с.

4. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи «Розрахунок трифазної синхронної машини» з дисципліни «Електричні машини» для студ. усіх форм навчання напряму 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / Харк.нац. акад. міськ. госп-ва ; уклад. : М. Л. Глебова, М. В. Чернявська, В.Б. Фінкельштейн. – Х. : ХНАМГ, 2010. – 26 с.

5. Глебова М.Л. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи «Розрахунок силового трифазного двообмоткового масляного трансформатора» з дисципліни «Електричні машини» для студ. усіх форм навчання напряму 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / М. Л. Глебова, М. В. Чернявська ; Харк.нац. ун. міськ. госп-ва – Х. : ХНУМГ, 2013. – 24 с.

РОЗДІЛ 2

Модуль 1 Трансформатори, асинхронні машини(3 кредити/ 108 годин)

2.1 ЗМ 1.1 Фізичні процеси в трансформаторі та їх математичний опис, характеристики трансформатора

Тема 1 Конструкція, принцип дії та рівняння трансформатора

Конструктивні елементи трансформатора. Принцип дії. Рівняння ЕРС і НС трансформатора. Приведений трансформатор. Схема заміщення, векторні діаграми трансформатора. Визначення параметрів по дослідах холостого ходу і короткого замикання. Струм холостого ходу й опір взаємоіндукції. Опір короткого замикання. Зв'язок між розмірами трансформатора і величинами, що характеризують електромагнітні процеси.

Тема 2 Втрати в трансформаторі, зовнішня характеристика трансформатора, коефіцієнт корисної дії

Визначення зміни напруги трансформатора при навантаженні. Регулювання напруги трансформаторів без навантаження і під навантаженням. Втрати і ККД трансформатора. Магнітні системи 3-х фазних трансформаторів.

Тема 3 Паралельна робота трифазних трансформаторів. Перехідні процеси в трансформаторах. Спеціальні типи трансформаторів

Схеми і групи з'єднань обмоток. Особливості процесу намагнічування трансформаторів. Несиметричне навантаження трифазних трансформаторів. Перенапруга в трансформаторі. Трьохобмоточні трансформатори. Паралельна робота трифазних трансформаторів. Елементи перехідних процесів. Надструми при вмиканні і раптовому короткому замиканні. Електродинамічні умови. Автотрансформатори. Спеціальні типи трансформаторів. Трансформатори випрямних установок.

Таблиця 2.1 – Розподіл годин по змістовому модулю 1.1

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		лек	лаб	пр/сем	срс		лек	лаб	пр/сем	срс
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Змістовий модуль 1.1 Фізичні процеси в трансформаторі та їх математичний опис, характеристики трансформатора										
Тема 1. Конструкція, принцип дії та рівняння трансформатора.	16	6	4	-	6	16	1	-	-	15
Тема 2. Втрати в трансформаторі, зовнішня характеристика трансформатора, коефіцієнт корисної дії.	16	6	4	-	8	16	2	2	-	12
Тема 3. Паралельна робота трифазних трансформаторів. Перехідні процеси в трансформаторах. Спеціальні типи трансформаторів.	22	4	8	-	8	22	1	2	-	19
Разом за змістовим модулем 1.1	54	16	16	-	22	54	4	4	-	46

План-графік самостійного вивчення змістового модуля 1.1 наведений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – План-графік самостійного вивчення ЗМ 1.1

Номер тижня	Номер теми	Найменування питань, що вивчаються на лекції	№ занять прак., лаб.	Використовувані наукові і методичні посібники	Самостійна робота студентів		Форма контролю
					Зміст	Години (ден-на/заочна)	
1	2	3	4	5	6	7	8
1, 2, 3	1	Трансформатори. Конструктивні елементи трансформатора. Рівняння ЕРС і НС трансформатора. Принцип дії. При ведений трансформатор. Схема заміщення, векторні діаграми трансформатора. Визначення параметрів по дослідах холостого ходу і короткого замикання. Струм холостого ходу й опір взаємодукції. Опір короткого замикання. зв'язок між розмірами трансформатора і величинами, що характеризують електромагнітні процеси.	ЛР№1	Універсальний стенд , М.1, Плакат: обмотки і магніто-проводи трансформатора	Л1. Гл.7, 8, 14 Л2. Гл.2 п.2.1–2.7 Л3. Ч1. Гл.1,2,3 Л4. Р2. Гл.12-14 Л5. Гл2. §2.1–2.8 Л6. Гл. 2. 2.1–2.8	6/15	Відповіді на контрольні запитання ЛР№1
4, 5, 6	2	Визначення зміни напруги трансформатора при навантаженні. Регулювання напруги трансформаторів без навантаження і під навантаженням. Втрати і ККД трансформатора. Магнітні системи 3-х фазних трансформаторів.	ЛР№2	Універсальний стенд , М.1	Л1.Гл15-3, 4, 5 Л2. Гл.2 п. 2.8, 2.15 Л3. Ч1. Гл4,5,7,9 §4, §2-3 Л4. Р2. Гл.15 Л5. Гл2. §2.9–2.10 Л6. Гл. 2. 2.9–2.11	8/12	Відповіді на контрольні запитання ЛР№2
7, 8	3	Схеми і групи з'єднань обмоток. Особливості процесу намагнічування трансформаторів. Несиметричне навантаження трифазних трансформаторів. Перенапруга в трансформаторі. Трьохобмоточні трансформатори. Паралельна робота трифазних трансформаторів. Елементи перехідних процесів. Надструми при вмиканні і раптовому короткому замиканні. Електродинамічні умови. Автотрансформатори. Спеціальні типи трансформаторів. Трансформатори випрямних установок.	ЛР№3 ЛР№4	Універсальний стенд , М.1	Л1. Гл.13, 16, 17, 18 Л2. Гл.2, п.2.8–2.13, 2.16–2.18 Л3. Ч1. Гл4,11,13–15 Л4. Р2. Гл.15 Л5. Гл2. §2.11–2.16 Л6. Гл. 2. 2.12–2.20	8/19	Відповіді на контрольні запитання ЛР№3, ЛР№4. Тестування за змістовим модулем

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Розрахунково-графічна робота за навчальним планом денної форми не передбачена. Для заочної форми навчання контрольна робота (18годин)

КОНТРОЛЬНА РОБОТА

«Розрахунок силового трифазного двообмоткового масляного трансформатора»

Мета. Метою контрольної роботи є поглиблене вивчення матеріалу за розділом "Трансформатори", знайомство з елементами сучасної інженерної методики розрахунку силового трансформатора, підготовка студентів до самостійного вирішення задач при проектуванні, виготовленні та експлуатації трансформаторів.

У процесі виконання і захисту контрольної роботи студенти повинні показати:

- знання конструктивних елементів трансформаторів, електротехнічних матеріалів для їхнього виготовлення, методики теоретичного дослідження трансформаторів, основних електромагнітних і конструктивних параметрів, навантажувальних характеристик, послідовності розрахунку силових трансформаторів;
- уміння правильно й обґрунтовано вибирати навантаження, робити розрахунки магнітопровода, обмоток, ізоляції, визначати основні розміри в подовжньому і поперечному перерізі й одержувати уточнені характеристики розрахунковим шляхом;
- навички застосування навчальної літератури, що рекомендується, і конспектів лекцій для обґрунтування окремих розрахунків і самостійно прийнятих рішень.

Зміст контрольної роботи

1. Розрахунок основних електричних величин
2. Розрахунок магнітопровода
3. Розрахунок обмоток
4. Розміри активних частин трансформатора
5. Розрахунок параметрів холостого ходу і короткого замикання.

ЗАЛІКОВІ ЗАПИТАННЯ

1. Поясніть, як виводиться формула е.р.с. трансформатора.
2. Проаналізуйте, чому е.р.с., що створюється в обмотках, які перетинаються змінним потоком, відстає від потоку і на який кут.
3. Визначте, які е.р.с. розглядають при складанні рівнянь для контурів первинної і вторинної обмоток за другим законом Кірхгофа.
4. Поясніть, як отримують рівняння струмів трансформатора.
5. Обґрунтуйте математичну модель трансформатора.
6. Визначте, що являє собою зведений трансформатор.
7. Визначте, яку умову виконують при зведенні вторинних величин до числа витків первинної обмотки, що дає використання зведеного трансформатора замість реального.
8. Поясніть, що являє собою намагнічувальна вітка схеми заміщення.
9. Поясніть, як можна визначити параметри схеми заміщення.
10. Поясніть порядок побудови векторно-потенційних діаграм зведеного трансформатора.

Після вивчення ЗМ 1.1 максимальний процент набраних балів складає 50%. При цьому студент повинен засвоїти теоретичний матеріал модуля в повному обсязі, виконати й захистити лабораторні роботи № 1, 2, 3, 4.

2.2 ЗМ 1.2 Фізичні процеси в асинхронній машині та їх математичний опис, характеристики асинхронної машини

Тема 4 Конструкція, принцип дії та рівняння асинхронної машини. Втрати в асинхронній машині, коефіцієнт корисної дії

- 4.1 Загальні питання машин змінного струму. Конструкція машин змінного струму.
- 4.2 Трифазні обмотки, ЕРС обмоток. Обмоточний коефіцієнт. Намагнічуюча сила трифазних обмоток. Виникнення магнітного поля. Індуктивність і взаємодуктивність обмоток.
- 4.3 Асинхронні машини. Конструкція і принцип дії.
- 4.4 Асинхронна машина з загальмованим ротором.
- 4.5 Асинхронна машина з рухомим ротором, ковзання
- 4.6 Схеми заміщення і векторні діаграми. Режим роботи.
- 4.7 Енергетична діаграма асинхронного двигуна. Коефіцієнт корисної дії.

Тема 5 Робочі і механічна характеристики асинхронної машини

5.1 Обертальний електромагнітний момент та його залежність від ковзання.

5.2 Механічна характеристика двигуна. Пусковий момент асинхронного двигуна. Максимальний момент. Формула Клосса.

5.3 Дослід холостого ходу і короткого замикання.

5.4 Кругова діаграма асинхронного двигуна. Отримання робочих характеристик.

Тема 6 Способи пуску асинхронних двигунів. Регулювання частоти обертання. Основні та особливі типи двигунів

6.1 Способи пуску асинхронних двигунів. Двохкліткові і глибокопазні двигуни.

6.2 Регулювання частоти обертання. Способи гальмування. Робота двигуна при неномінальних умовах. Робота машини в режимі генератора і перетворювача частоти.

6.3 Основні типи двигунів. Особливі типи. Асинхронні мікромашини. Однофазні асинхронні двигуни. Конденсаторні двигуни.

Таблиця 2.3 – Розподіл годин по змістовому модулю 1.2

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		лек	лаб	пр/сем	срс		лек	лаб	пр/сем	срс
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Змістовий модуль 1.2 Фізичні процеси в асинхронній машині та їх математичний опис, характеристики асинхронної машини										
Тема 4. Конструкція, принцип дії та рівняння асинхронної машини. Втрати в асинхронній машині, коефіцієнт корисної дії.	16	6	6	-	4	16	1	2	-	13
Тема 5. Робочі і механічна характеристики асинхронної машини.	18	6	6	-	6	18	1	2	-	15
Тема 6. Способи пуску асинхронних двигунів. Регулювання частоти обертання. Основні та особливі типи двигунів.	20	6	6	-	8	20	2	-	-	18
Разом за змістовим модулем 1.2	54	18	18	-	18	54	4	4	-	46

План-графік самостійного вивчення змістового модуля 1.2 наведено в таблиці 2.4.

ЗАЛІКОВІ ЗАПИТАННЯ

1. Поясніть, як можна спростити розгляд процесів, що відбуваються при роботі асинхронного двигуна.
2. Поясніть, чому при нерухомому роторі асинхронний двигун можна розглядати як трансформатор.
3. Проаналізуйте, які потоки мають місце в магнітній системі асинхронного двигуна, де і які е.р.с. наводять ці потоки.
4. Обґрунтуйте рівняння е.р.с. обмотки статора асинхронного двигуна, поясніть величини, що в нього входять, чому це рівняння не відрізняється від рівняння е.р.с. первинної обмотки трансформатора.
5. Обґрунтуйте рівняння е.р.с. обмотки нерухомого ротора асинхронного двигуна, поясніть, яка частота е.р.с. і струмів у цьому рівнянні.
6. Поясніть, чим відрізняється частота струмів і е.р.с. обмотки ротора, що обертається, від частоти при $s = 1$.
7. Поясніть залежність е.р.с. та індуктивного опору обмотки ротора при обертанні від частоти f_2 і ковзання.
8. Поясніть рівняння намагнічувальних сил асинхронного двигуна.
9. Обґрунтуйте рівняння струмів асинхронного двигуна, поясніть, які величини в нього входять, чому це рівняння не відрізняється від аналогічного рівняння трансформатора?

Після вивчення ЗМ 1.2 максимальний процент набраних балів складає 50%. При цьому студент повинен засвоїти теоретичний матеріал модуля у повному обсязі, виконати й захистити лабораторні роботи № 5, 6, 7, 15.

Таблиця 2.4 – План-графік самостійного вивчення ЗМ 1.2.

Номер тижня	Номер теми	Найменування питань, що вивчаються на лекції	№ занять прак., лаб.	Використовувані наукові й методичні посібники	Самостійна робота студентів		Форма контролю
					Зміст	Години (денна/заочна)	
1	2	3	4	5	6	7	8
9, 10, 11	4	Загальні питання машин змінного струму. Конструкція машин змінного струму. Трифазні обмотки, ЕРС обмоток. Обмоточний коефіцієнт. Намагнічуюча сила трифазних обмоток. Виникнення магнітного поля. Індуктивність і взаємодуктивність обмоток. Асинхронні машини. Конструкція і принцип дії. Асинхронна машина із загальмованим ротором. Асинхронна машина з рухомим ротором. Ковзання, схеми заміщення і векторні діаграми. Режими роботи. Енергетична діаграма асинхронного двигуна. Коефіцієнт корисної дії.	ЛР№7,	Універсальний стенд, М.3, Плакат: асинхронні трифазні двигуни	Л1. Гл.19–24 Л2. Гл.3 п.3.1–3.6 Л3. Ч4. Гл.38–42 Л4. Р4. Гл. 24 Л5. Гл.5 § 5.1–5.5 Л.7.Гл.1, Гл.2. 2.1–2.5	4/13	Відповіді на контрольні запитання ЛР№7
12, 13, 14	5	Обертальний електромагнітний момент та його залежність від ковзання. Механічна характеристика двигуна. Отримання робочих характеристик. Колова діаграма асинхронного двигуна.	ЛР№5,	Універсальний стенд, М.3Плакат: асинхронні трифазні двигуни	Л1. Гл.25, 26 Л2. Гл.3 п. 3.7–3.9 Л3. Ч4. Гл.43 Л4. Р4. Гл.25, 26 Л.5. Гл.5 §5.6–5.9 Л.7. Гл.2. 2.6–2.8	6/15	Відповіді на контрольні запитання ЛР№5
15, 16, 17	6	Пусковий момент асинхронного двигуна. Максимальний момент. Формула Клосса. Дослід холостого ходу і короткого замикання. Способи пуску асинхронних двигунів. Двокліточні й глибокопазні двигуни. Регулювання частоти обертання. Способи гальмування. Робота двигуна при неномінальних умовах. Робота машини в режимі генератора і перетворювача частоти. Нормальні типи двигунів. Особливі типи. Асинхронні мікромашини.	ЛР№6,	Універсальний стенд, М.3, Плакат: двигуни з витисненням струму в роторі	Л1. гл.26 Л2. Гл. 3 п.3.14, 3.15,3.18,3.20 Л3. Ч4. Гл.44,45–49 Л4. Р4. Гл. 27, 28 Л.5. Гл.5 §5.10–5.16 Л.7. Гл.2. 2.9–2.10	8/18	Відповіді на контрольні запитання ЛР№6, Тестування за змістовим модулем

РОЗДІЛ 3

Модуль 2 Синхронні машини, машини постійного струму (Зкредити/ 108годин)

3.1 ЗМ 2.1 Фізичні процеси в синхронній машині та їх математичний опис, характеристики синхронної машини

Тема 1 Конструкція, принцип дії та основна векторна діаграма (діаграма Блонделя) синхронної машини

- 1.1 Елементи конструкції синхронних машин. Турбо- і гідрогенератори.
- 1.2 Принцип дії синхронної машини.
- 1.3 Рівняння і векторні діаграми.

Тема 2 Реакція якоря синхронної машини, її залежність від характеру навантаження. Характеристики синхронного генератора.

- 2.1 Основне магнітне поле. Поздовжнє і поперечне поле. Реакція якоря.
- 2.2 Параметри обмотки статора. Система відносних одиниць. Характеристики генератора.
- 2.3 Дослід холостого ходу і короткого замикання.
- 2.4 Визначення індуктивних опорів обмотки статора трифазної синхронної машини. Відношення короткого замикання.

Тема 3 Характеристики синхронних машин при паралельній роботі з мережею. Електромагнітна потужність. Синхронні двигуни. Синхронні компенсатори.

- 3.1 Особливості паралельної роботи. Умови вмикання.
- 3.2 Регулювання потужності. Кутова характеристика потужності. Синхронізуєча потужність. Стійкість роботи. Статична перевантаженість. V-образні криві.
- 3.3 Синхронні двигуни. Способи пуску. Векторні діаграми. V- образні криві. Порівняльні властивості. Переваги і недоліки.
- 3.4 Синхронні компенсатори.
- 3.5 Несиметричні режими генератора. Особливості роботи. Раптове коротке замикання. Динамічна стійкість.
- 3.6 Колекторні машини змінного струму.

Таблиця 3.1 – Розподіл годин по змістовому модулю 2.1

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		лек	лаб	пр/сем	срс		лек	лаб	пр/сем	срс
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Змістовий модуль 2.1 Фізичні процеси в синхронній машині та їх математичний опис, характеристики синхронної машини										
Тема 1. Конструкція, принцип дії та основна векторна діаграма (діаграма Блонделя) синхронної машини.	24	3	6	-	35	24	1	-	-	23
Тема 2. Реакція якоря синхронної машини, її залежність від характеру навантаження. Характеристики синхронного генератора.	24	3	6	-	35	24	0,5	2	-	21,5
Тема 3. Характеристики синхронних машин при паралельній роботі з мережею. Електромагнітна потужність. Синхронні двигуни. Синхронні компенсатори..	24	3	6	-	35	24	0,5	2	-	21,5
Разом за змістовим модулем 2.1	72	9	18	-	45	72	2	4	-	66

План-графік самостійного вивчення змістового модуля 2.1 наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – План-графік самостійного вивчення ЗМ 2.1

Номер тижня	Номер теми	Найменування питань, що вивчаються на лекції	№ занять прак., лаб.	Використовувані наукові і методичні посібники	Самостійна робота студентів		Форма контролю
					Зміст	Години	
1	2	3	4	5	6	7	8
1, 2, 3	1	Елементи конструкції синхронних машин. Турбо- і гідрогенератори. Принцип дії синхронної машини. Рівняння і векторні діаграми.	ЛР№9	Плакат: статор, якір синхронної машини Плакат: турбогенератори, гідрогенератори М.3	Л1. Гл.30, 19 Л2. Гл.4 п.4.1–4.3, 4.9,4.10 Л3. Ч5 Гл.51 Л4. Р5. Гл. 32,33 Л5. Гл.8 §8.1–8.3, 8.5 Л8 Гл.1 1.1–1.4, 1.6	35/223	Відповіді на контрольні запитання ЛР№9
4, 5, 6	2	Основне магнітне поле. Поздовжнє і поперечне поле. Реакція якоря. Параметри обмотки статора. Система відносних одиниць. Характеристики генератора. Дослід холостого ходу і короткого замикання. Визначення індуктивних опорів обмотки статора трифазної синхронної машини. Відношення короткого замикання.	ЛР№8	Плакат: магнітне коло синхронної машини М.3	Л1. Гл.32 Л2. Гл.4 п.4.4–4.8 Л3. Ч5 Гл.54–57 Л4. Р5. Гл.34 Л5. Гл.8 § 8.4, 8.6, 8.7 Л8. Гл.1 1.5,1.7,1.8	35/21,5	Відповіді на контрольні запитання ЛР№8
7, 8, 9	3	Особливості паралельної роботи. Умови вмикання. Регулювання потужності. Кутова характеристика потужності. Синхронізуюча потужність. Стійкість роботи. Статична перевантаженість. V-образні криві. Синхронні двигуни. Способи пуску. Векторні діаграми. V-образні криві. Порівняльні властивості. Переваги і недоліки. Синхронні компенсатори. Несиметричні режими генератора. Особливості роботи. Раптове коротке замикання. Динамічна стійкість. Колекторні машини змінного струму.	ЛР№10	М.3	Л1. Гл.33 Л2. Гл.4 п.4.11–4.23 Л3. Ч5 Гл.58, 59 Л4. Р5. Гл. 35, 37 Л5. Гл.8 § 8.8–8.17 Л8 Гл.1 1.9–1.16	35/21,5	Відповіді на контрольні запитання ЛР№10 Тестування за змістовим модулем

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА (18 годин)

(для денної та заочної форми навчання)

«Розрахунок трифазної синхронної машини»

Мета РГР:

Метою розрахунково-графічної роботи є поглиблене вивчення матеріалу за розділом "Синхронні машини", знайомство з елементами сучасної інженерної методики розрахунку синхронних машин, підготовка студентів до самостійного вирішення задач при проектуванні, виготовленні та експлуатації синхронних машин.

У процесі виконання і захисту РГР студенти повинні показати:

- знання конструктивних елементів синхронних машин, електротехнічних матеріалів для їхнього виготовлення, методики теоретичного дослідження синхронних машин, основних електромагнітних і конструктивних параметрів, навантажувальних характеристик, послідовності розрахунку синхронних машин;
- уміння правильно й обґрунтовано робити розрахунки магнітопровода, обмоток, ізоляції, визначати основні розміри в подовжньому і поперечному перерізі й одержувати уточнені характеристики розрахунковим шляхом;
- навички застосування навчальної літератури, що рекомендується, і конспектів лекцій для обґрунтування окремих розрахунків і самостійно прийнятих рішень.

Робоче завдання РГР:

1. Визначення головних розмірів.
2. Проектування статора.
3. Проектування індуктора.
4. Втрати і ККД у режимі нормального навантаження.
5. Розрахунок нагрівання обмотки статора й обмотки збудження.

ЗАЛІКОВІ ЗАПИТАННЯ

1. Як визначається електромагнітна потужність електричної машини?
2. Чому є необхідність визначати електромагнітну потужність синхронної машини через кут вильоту ротора?

3. Виведіть, користуючись спрощеною векторно-потенційною діаграмою неявнополюсного генератора, формулу його електромагнітної потужності (моменту).
4. Зобразіть кутову характеристику синхронного неявнополюсного генератора і поясніть на ній характерні точки.
5. Що розуміють під статичною перевантажувальністю синхронного генератора, в яких межах вона лежить у неявнополюсних машин ?
6. Виведіть формули електромагнітних потужності й моменту явнополюсного синхронного генератора.
7. Поясніть природу виникнення додаткового (реактивного) електромагнітного моменту.
8. Зобразіть і поясніть кутову характеристику явнополюсного синхронного генератора.
9. Поясніть природу виникнення синхронізуючої потужності (моменту) синхронної машини при паралельній роботі з мережею.
10. Зобразіть залежність питомої
11. синхронізуючої потужності (моменту) від кута θ і поясніть цю залежність.
12. V- подібні характеристики синхронних машин.

Після вивчення ЗМ 2.1 максимальний процент набраних балів складає 20%. При цьому студент повинен засвоїти теоретичний матеріал модуля в повному обсязі, виконати й захистити лабораторні роботи № 9, 10 та РГР(20%).

3.2 ЗМ 2.2 Фізичні процеси в машинах постійного струму та їх математичний опис, характеристики машин постійного струму

Тема 4 Конструкція, принцип дії та характеристики машин постійного струму, рівняння електричної та механічної рівноваги.

- 4.1 Конструкція машин постійного струму, матеріали конструктивні, магнітні, провідникові й ізоляційні.
- 4.2 Принцип дії двигунів і генераторів постійного струму.
- 4.3 ЕРС і електромагнітний момент.

Тема 5 Реакція якоря та комутація машин постійного струму.

- 5.1 Магнітне поле машини постійного струму при холостому ході. Магнітна характеристика. Поле якоря. Реакція якоря. Компенсаційна обмотка.
- 5.2 Комутація машин постійного струму. Розрахунок додаткових полюсів. Способи поліпшення комутації. Експериментальна наладка комутації, радіоперешкоди, способи їх зниження.

Тема 6 Регулювання швидкості двигунів і напруги генераторів постійного струму. Втрати і ККД машин постійного струму.

6.1 Генератори постійного струму. Генератори з незалежним, паралельним і змішаним збудженням.

6.2 Двигуни постійного струму. Пуск, реверсування і гальмування. Способи регулювання частоти обертання двигунів з паралельним, послідовним і змішаним збудженням.

6.3 Сучасні методи управління двигунами. Управління по системі “генератор-двигун”. Електричні мікромашини постійного струму.

6.4 Втрати і ККД машин постійного струму. Нагрівання і охолодження. Серії машин постійного струму, що випускаються електропромисловістю.

Тема 7 Вентильні та вентильні реактивні машини.

7.1 Конструкція і принцип дії вентильних машин.

7.2 Рівняння вентильних машин.

7.3 Характеристики вентильних машин.

7.4 Конструкція і принцип дії вентильних реактивних машин.

7.5 Рівняння вентильних реактивних машин.

7.6 Характеристики вентильних реактивних машин.

Таблиця 3.3 – Розподіл годин по змістовому модулю 2.2

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		лек	лаб	пр/сем	срс		лек	лаб	пр/сем	срс
Змістовий модуль 2.2. Фізичні процеси в машинах постійного струму та їх математичний опис, характеристики машин постійного струму.										
Тема 4. Конструкція, принцип дії та характеристики машин постійного струму, рівняння електричної та механічної рівноваги.	18	2	8	-	8	18	1	3	-	14
Тема 5. Реакція якоря та комутація машин постійного струму.	18	2	4	-	12	18	-	-	-	18
Тема 6. Регулювання швидкості двигунів і напруги генераторів постійного струму. Втрати і ККД машин постійного струму.	18	2	4	-	12	18	1	1	-	16
Тема 7. Вентильні та вентильні реактивні машини.	18	2	-	-	16	18	-	-	-	18
Разом за ЗМ 2.2	72	8	16	-	48	72	2	4	-	66

План-графік самостійного вивчення змістового модуля 2 наведено в таблиці 3.4.

ЗАЛІКОВІ ЗАПИТАННЯ

1. Як класифікують генератори постійного струму ?
2. Запишіть і проаналізуйте рівняння струмів генераторів різних способів збудження.
3. Напишіть рівняння е.р.с. генератора постійного струму, поясніть його складові частини.
4. Який момент називають моментом холостого ходу?
5. З яких втрат складаються втрати холостого ходу?
6. Проаналізуйте рівняння рівноваги моментів генератора.
7. Поясніть, як відбувається перетворення механічної потужності в електричну в генераторі постійного струму.
8. Що таке магнітна характеристика двигуна послідовного збудження?
9. У чому переваги двигуна послідовного збудження при роботі в складних умовах пуску й роботи ?
10. Чому швидкісні характеристики двигуна послідовного збудження м'якші, ніж в інших двигунів?
11. В яких електроприводах використовують двигуни послідовного збудження?
12. Проаналізуйте характеристики двигуна змішаного збудження в порівнянні з характеристиками двигунів паралельного і послідовного збудження.
13. Де застосовують двигуни змішаного збудження?
14. Які двигуни називають універсальними?
15. Де використовують універсальні колекторні двигуни?
16. Чому універсальні колекторні двигуни мають послідовне збудження?
17. Чому комутація в універсальних двигунів при живленні змінним струмом складна?
18. На якому струмі живлення характеристики універсального колекторного двигуна кращі і чому?

Після вивчення ЗМ 2.2 максимальний процент набраних балів складає 30%. При цьому студент повинен засвоїти теоретичний матеріал модуля у повному обсязі, виконати і захистити лабораторні роботи № 11, 12, 13.

Таблиця 3.4 – План-графік самостійного вивчення ЗМ 2.2

Номер тижня	Номер теми	Найменування питань, що вивчаються на лекції	№ занять прак., лаб.	Використовувані наукові й методичні посібники	Самостійна робота студентів		Форма контролю
					Зміст	Години (денна/заочна)	
1	2	3	4	5	6	7	8
10, 11	4	Зміст курсу електричних машин. Електромашинобудування на сучасному етапі. Конструкція машин постійного струму, матеріали конструктивні, магнітні, провідникові й ізоляційні. Принцип дії двигунів і генераторів постійного струму. ЕРС і електромагнітний момент.	Вступне, ЛР№11	Універсальний стенд, Навчальні макети машин постійного струму. М.2, Плакат: обмотка якоря	Л1. Гл.1 §1–4 Л2. Гл. 5. п. 5.1–5.4 Л3. Ч6. Гл.64 §64.1–64.6 Л4. Р1. Гл. 1-4 Л5 Гл. 10 §10.1–10.4 Л8. Гл II. 2.1–2.4	8/14	Відповіді на контрольні запитання ЛР№11
12,13	5	Магнітне поле машини постійного струму при холостому ході. Магнітна характеристика. Поле якоря. Реакція якоря. Компенсаційна обмотка. Комутація машин постійного струму. Розрахунок додаткових полюсів. Способи поліпшення комутації. Експериментальна наладка комутації, радіоперешкоди, способи їх зниження.	ЛР№13	Універсальний стенд, М.2	Л1. Гл.2, Гл.5, Гл.6 Л2 Гл. 5. п. 5.6–5.8 Л3. Ч6. Гл.64 §64.8, 64.9, 64.11 Л4. Р1. Гл. 5,6 Л5 Гл. 10. §10.5-10.7 Л8. Гл II 2.5–2.7	12/18	Відповіді на контрольні запитання ЛР№13
14, 15	6	Генератори постійного струму. Генератори з незалежним, паралельним і змішаним збудженням. Двигуни постійного струму. Пуск, реверсування і гальмування. Способи регулювання частоти обертання двигунів з паралельним, послідовним і змішаним збудженням. Сучасні методи управління двигунами. Управління по системі “генератор-двигун”. Електричні мікромашини постійного струму. Втрати і ККД машин постійного струму. Нагрівання і охолодження.	ЛР№11, ЛР№12, ЛР№14	Універсальний стенд, М.2, Плакат: одностороння осьова вентиляція машин постійного струму	Л1. Гл.7–11 Л2 Гл.5 п. 5.5, 5.9–5.12 Л3. Ч6. Гл.64 §64.10, 64.12, 64.13 Л4. Р1. Гл. 7–10 Л5 Гл. 10. §10.8–10.14 Л8. Гл II 2.8–2.14	12/16	Відповіді на контрольні запитання ЛР№11, ЛР№12, ЛР№14

Продовження таблиці 3.4

Номер тижня	Номер теми	Найменування питань, що вивчаються на лекції	№ занять прак., лаб.	Використовувані наукові й методичні посібники	Самостійна робота студентів		Форма контролю
					Зміст	Години (денна/заочна)	
1	2	3	4	5	6	7	8
16, 17	7	Конструкція і принцип дії вентильних машин. Рівняння вентильних машин. Характеристики вентильних машин. Конструкція і принцип дії вентильних реактивних машин. Рівняння вентильних реактивних машин. Характеристики вентильних реактивних машин.			Л2. Гл 5 п. 5.13 Л.9 Р.1	16/18	Тестування за змістовим модулем

РОЗДІЛ 4

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

Відповідь студента оцінюється за національною шкалою **«відмінно»** або за шкалою ECTS **«А»**, якщо він при вивченні модуля набрав більше **90 – 100** включно балів; вільно володіє програмним матеріалом; послідовно дає логічні відповіді на залікові запитання; правильно розв’язує задачу; вільно відповідає на додаткові запитання; володіє логічним мисленням; вільно застосовує ЕОМ при розв’язанні задач.

Відповідь студента оцінюється **«добре»** або **«В»**, якщо він набрав більше **80 – 90** включно балів; твердо володіє програмним матеріалом; грамотно і логічно дає відповіді на залікові запитання; при викладенні матеріалу припускається деяких помилок з другорядних питань курсу; правильно відповідає на додаткові запитання; правильно розв’язує задачу; впевнено працює з ЕОМ.

Відповідь студента оцінюється **«добре»** або **«С»**, якщо він набрав більше **70 – 80** включно балів; твердо володіє програмним матеріалом; грамотно і логічно дає відповіді на залікові запитання; при викладенні матеріалу припускається помилок з другорядних питань курсу; правильно відповідає на додаткові запитання; правильно розв’язує практичну задачу, але допускає помилки у одиницях вимірювання або чисто математичні помилки; вміє використовувати готові програмні системи при розв’язанні задач.

Відповідь студента оцінюється **«задовільно»** або **«D»**, якщо він набрав більше **60 – 70** включно балів; володіє основним програмним матеріалом; припускає деякі неточності у формулюваннях та виводах основних залежностей; зазнає ускладнень при відповідях на додаткові запитання; правильно, але не до кінця розв’язує задачу; вміє працювати з ЕОМ.

Відповідь студента оцінюється **«задовільно»** або **«Е»**, якщо він набрав більше **50 – 60** включно балів; посередньо володіє основним програмним матеріалом; допускає неточності при формулюванні основних залежностей; не до кінця розв’язує задачу; має слабкі навички роботи з ЕОМ.

Відповідь студента оцінюється **«незадовільно з можливістю повторного складання»** або **«FX»**, якщо він набрав більше **25 – 50** включно балів; слабо володіє основним програмним матеріалом; допускає грубі помилки при формулюванні, визначенні й при виведенні основних залежностей; на додаткові запитання відповідає невпевнено і неправильно; практичну задачу не розв’язує до кінця; навички роботи з ЕОМ слабкі.

Відповідь студента оцінюється **«незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни»** або **«F»**, якщо він набрав від **0** до **25** включно балів; не володіє основним програмним матеріалом; не розв’язує практичну задачу; навички роботи з ЕОМ слабкі.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до самостійного вивчення
дисципліни

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

(для студентів усіх форм навчання напрямів підготовки
6.050701 – Електротехніка та електротехнології,
6.050702 – Електромеханіка)

Укладачі: **ГЛЄБОВА** Марина Леонідівна
ДОРОХОВ Олександр Володимирович
ФОРКУН Яна Борисівна

Відповідальний за випуск: к.т.н. доц. *Я. Б. Форкун*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2015, поз. 252 М

Підп. до друку 05.05.2015
Друк на ризографі.
Тираж 50 пр.

Формат 60×84/16
Ум. друк. арк. 1,6
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014р.